

Instalación, calibración y puesta en marcha de sistema de sismógrafo tipo EQ-1 en el laboratorio de la Universidad Piloto de Colombia

Setup, calibration and start-up of seismograph system type EQ-1 in the laboratory of the University Piloto of Colombia

María Eugenia Mora¹

zaray92@hotmail.com

Diego Andrés Gómez Ayala¹

diegog0607@gmail.com

Fernando Estévez Rivera¹

fertevez9102@gmail.com

¹Semillero de Investigación en Geotecnología. Línea de investigación del programa de Geomateriales. Línea de investigación del grupo HD+i: Infraestructura y Nuevas Tecnologías. Universidad Piloto de Colombia. Director Proyecto: Juan Carlos Ruge C. Par Colaborativo: N/A.

RESUMEN: Una estación sismográfica, consta de un artefacto destinado a registrar la hora, duración y amplitud de los sismos a través de un sismograma o registro gráfico de una vibración. El propósito de esta investigación es conocer su funcionamiento, el cual permite registrar y así conocer la magnitud de una onda sísmica, debido a que los movimientos telúricos que han sucedido a lo largo de la historia son responsables de las modificaciones del relieve terrestre que se conocen en la actualidad. En esta investigación se plantea la instalación ensamble y puesta en funcionamiento de un sismógrafo para lo cual se propone un manual de utilización, que permite la fácil interacción entre el usuario y la estación pudiendo resolver una serie de interrogantes en cuanto al funcionamiento del sismógrafo y el software. Obteniendo así los resultados esperados para el uso de la estación. Estos estudios del manejo de la estación sismográfica tienen aproximaciones con la escala de Richter.

Palabras Clave: Sismógrafo, Sismos, Movimientos telúricos, Epicentro.

ABSTRACT. A seismographic station, consists of an apparatus designed to record the time, duration and amplitude of earthquakes, through a seismogram or graphic record of a vibration. The purpose of this research is to know its operation, which allows to record and thus know the magnitude of a seismic wave, because the

telluric movements that have occurred throughout history are responsible for the modifications of the land relief that are known nowadays. This research proposes the installation and starting-up of a seismograph for which a manual of utilization is proposed, which allows an easy interaction between the user and the station, being able to solve a series of questions regarding the operation of the seismograph and the software. Thus, obtaining the expected results for the use of the station. These studies of seismographic station management have approximations with the Richter scale.

Keywords: Seismograph, Earthquakes, Epicenter.

1 INTRODUCCIÓN

Los sismógrafos son instrumentos diseñados para capturar y registrar gráficamente el movimiento telúrico de las placas tectónicas en el interior de la tierra, lo que ocasiona vibraciones en la superficie terrestre llamadas sismos. Los sismos se localizan a partir del tiempo que tardan las ondas en viajar desde el interior de la tierra donde inicia la ruptura de la falla, hasta el punto de instalación del sismógrafo.

El sismógrafo tipo EQ-1 adquirido para desarrollar este proyecto, se instalará en el laboratorio de la Universidad Piloto de Colombia, el cual

consiste en la unidad de sismómetro (Instrumento para registrar la intensidad de los temblores de tierra durante un terremoto), una caja de interfaz y cables asociados, un ordenador que controla el sistema operativo Windows, y el Software Amaseis. El equipo es diseñado para demostrar la operación de un sismómetro en "modo estudiante" y para supervisar continuamente la actividad sísmica en "modo terremoto". La unidad de sismómetro es un dispositivo simple pero sensible para descubrir los componentes verticales de ondas sísmicas generadas por terremotos y otros acontecimientos.

Se hace necesario analizar los resultados obtenidos para tener un análisis de los movimientos de las placas tectónicas locales en el sitio de la instalación del sismógrafo y así mismo encontrar una explicación de dicho comportamiento a gran escala de liberación de energía.

Claramente, la justificación del proyecto tiene un matiz didáctico, debido a la poca oportunidad que actualmente posee un estudiante de interactuar con instrumentos de este tipo, y así mismo poder procesar y analizar con detalle un evento sísmico, entendiendo sus parámetros principales. De otra parte, en lo concerniente al problema de investigación, este artículo muestra el estudio de una señal sísmica real obtenida por el aparato, así como la estimación analítica por metodologías

clásicas de algunos parámetros sísmicos en comparación con los datos de salida capturados por el software del equipo.

2 ANTECEDENTES

Antes de indagar los resultados de los movimientos de las placas tectónicas adquiridos en el laboratorio, se debe tener en cuenta la caracterización de cada uno de los conceptos que pertenecen a la temática abordada, ya que son importantes para abarcar el tema en su totalidad.

Un terremoto es la vibración de la tierra producida por una rápida liberación de energía que genera un deslizamiento de la corteza terrestre a lo largo de una falla geológica (grandes estructuras de la corteza terrestre). La energía liberada irradia en todas las direcciones en forma de ondas análogas.

Los parámetros que se deben tener en cuenta como fuente de localización son el foco, tiempo de origen y magnitud. El punto de origen o punto de falla de un terremoto se llama hipocentro y el punto de la superficie de la tierra por encima del hipocentro se llama epicentro [1] (Figura 1).

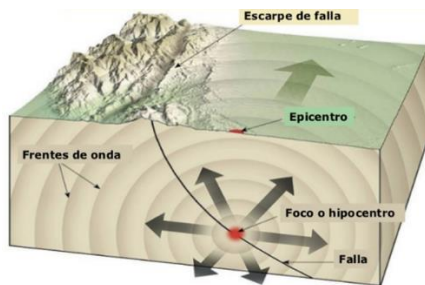


Figura 1. Epicentro de un terremoto [2]

Las primeras ondas sísmicas registradas se utilizan para determinar la ubicación del terremoto. Las coordenadas del epicentro se dan en unidades de latitud que es el número de grados norte (N) o sur (S) de la línea ecuatorial y varía de 0 en el ecuador a 90 en los polos; y longitud que es el número de grados al este (E) u oeste (W) del primer meridiano que pasa por Greenwich, y varía de 0 a Greenwich a 180 y E o W muestra la dirección de Greenwich [3].

La mayoría de los terremotos ocurren por el desplazamiento de grandes

porciones de la corteza terrestre llamadas placas tectónicas. El rozamiento entre placas produce una gran acumulación de presión, liberando una gran cantidad de energía sísmica que es conocida como su magnitud por la pérdida de estabilidad de la corteza terrestre, en cuanto mayor es su magnitud mayor es la energía liberada. Los terremotos o sismos se miden utilizando dos escalas, escala de Mercalli y escala de Richter (Cita, año).

2.1 AMENAZA SÍSMICA

La amenaza sísmica es denominada como el potencial de que ocurran sismos dañinos en un área geográfica. Dentro de ella se toman en cuenta los sismos que puedan ocurrir en el epicentro o en zonas aledañas; esta presenta variaciones de mediciones que dependen de la persona que la realice, se puede medir bien sea desde la evaluación de que la zona sea activa sísmicamente, hasta por la forma como se presenta en las normas de diseño sismo resistente.

Según el Estudio General de Amenaza Sísmica para Colombia, el territorio nacional se divide en tres tipos de amenaza sísmica (alta, media y baja), Bogotá está ubicada en una zona de amenaza sísmica media [5].

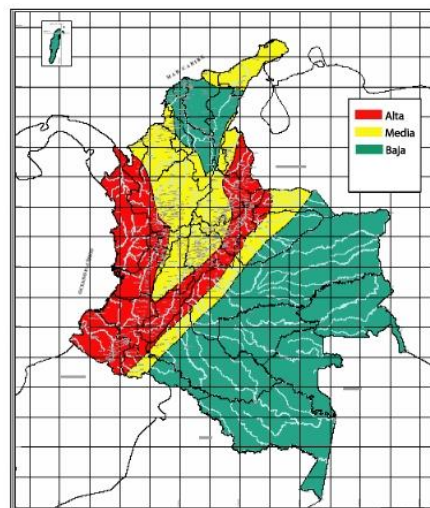


Figura 2. Mapa de Amenaza sísmica para Colombia [5]

2.1.1 TIPOS DE SISMOS

Existen diversos tipos de sismos, dependiendo de la interacción de las placas tectónicas. Los sismos interplaca

se generan en las zonas de contacto de las zonas tectónicas, tienen una alta magnitud, un foco profundo y liberan gran cantidad de energía. Generalmente se producen a profundidades alejadas de los centros de población.

Los sismos intraplaca son originados en las fallas locales de las placas tectónicas. Tienen magnitudes pequeñas o moderadas y son cercanos a los centros de población. Los volcánicos nacen como consecuencia de la actividad propia de los volcanes, generalmente son de baja magnitud y se limitan al sistema volcánico. También existen sismos antrópicos provocados por la actividad humana, ya sea por explosiones o por el colapso de terreno en explosiones mineras.

2.2 ESCALA DE INTENSIDAD

En 1902 Giuseppe Mercalli desarrolló una escala de intensidad basada en medida de destrucción para calcular la fuerza de un terremoto. La escala de Intensidad de Mercalli Modificada se utiliza comúnmente en Estados Unidos. Los niveles bajos de la escala están asociados por la forma en que las personas sienten el movimiento, mientras que los grados más altos se relacionan con el daño estructural observado [6]. En la Tabla 1 se muestra una guía aproximada de los grados de la escala de Mercalli modificada.

Tabla 1. Escala de intensidades de Mercalli Modificada [6].

I	No sentido.
II	Sentido excepcionalmente.
III	Sentido muy sensible en interiores.
IV	Sentido en el exterior de las viviendas.
V	Sentidos por todos. Grietas en las viviendas.
VI	Difícil mantenerse en pie. Notado por los automovilistas. Daño moderado en las viviendas.
VII	Conducción de vehículos afectada. Ramas de árboles desgajadas. Daño moderado en las viviendas.
VIII	Pánico general. Grandes grietas en el suelo, cráteres de arena, fuentes nuevas. Grave daño.
IX	Grave destrucción. Rieles doblados. Grandes derrumbes, desplazamiento horizontal de la tierra.
X	Daño total en servicios esenciales. Grandes grietas en la tierra.
XI	Catastrofe. Desplazamiento de grandes masas de roca. Objetos lanzados al aire.
XII	

La escala de Intensidad de Mercalli Modificada se utiliza comúnmente en los Estados Unidos. Los niveles de intensidad de la escala inician desde (I) No sentido, hasta (XII) Catástrofe, que representan la fuerza en su totalidad de la energía liberada de un gran movimiento de placas tectónicas donde se determina a partir de los efectos sobre las personas, estructuras y entorno.

2.3 ESCALA DE MAGNITUD

Al ver la necesidad de comparar los terremotos en todo el mundo, Charles Richter en 1935 desarrolló la primera escala de magnitud utilizando registros sísmicos que se basa en la amplitud de la mayor onda sísmica registrada en un sismógrafo. Aunque la escala de Richter no tiene un límite superior, la mayor magnitud registrada en un sismógrafo fue de 9,5 en Valdivia – Chile el 22 de mayo en el año 1960. La magnitud Richter está diseñada para estudiar los terremotos próximos o locales y se indica con el símbolo (ML), en donde M corresponde a magnitud y L a local. La ventaja de describir el tamaño de un terremoto utilizando un único número es que puede calcularse a través de los sismogramas que hacen de la escala de Richter una herramienta útil [7] (Tabla 2).

Tabla 2. Escala de magnitud de Richter [7].

Magnitud	Efectos del terremoto
>3.5	Generalmente no se siente, pero se registra
3.5 a 5.4	Se siente, pero no causa daños menores cerca de donde se produce.
5.5 a 6.0	Ocasiona daños ligeros a edificios mal construidos y otras estructuras en un radio de 10 Km.
6.1 a 6.9	Puede ocasionar daños severos en áreas donde vive mucha gente.
7.0 a 7.9	Terremoto mayor. Causa graves daños a las comunidades en un radio de 100 Km.
8.0 o >	Gran terremoto. Destrucción total de comunidades cercanas y daños severos en un radio de más de 1000 Km de distancia.

Los terremotos con magnitud de 2.0 o menos no son percibidos generalmente por las personas sino por sismógrafos locales, los de magnitud alrededor de 4.5 o mayor son suficientemente fuertes para ser registrados por los sismógrafos sensibles en todo el mundo.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

Un sismógrafo es un instrumento muy sensible que puede detectar movimientos de la superficie de la tierra ya que está en constante movimiento debido a fenómenos naturales y hechos por el hombre. La gran variedad de movimientos del terreno, tanto en términos de periodo de oscilación como de amplitud de vibración, hace imposible que un solo sismógrafo registre todos los tipos de movimiento.

El sismógrafo que se instalará en el laboratorio de la Universidad Piloto de Colombia puede detectar explosiones mineras locales, así como terremotos moderados o grandes que ocurren a nivel mundial; se basa en la primera ley de Newton (Un cuerpo en reposo permanecerá en reposo), un imán es suspendido por un resorte de un brazo, cuando el suelo vibra el brazo se mueve, pero la masa tiende a permanecer en reposo, por lo que el resorte se estira.

El movimiento relativo entre el brazo y la masa es proporcional a la sacudida del suelo y provoca que se genere una pequeña corriente eléctrica que se envía al sismógrafo para convertirlo en un sismograma. Un muelle tirará eventual la masa, así que el sismómetro requiere una amortiguación. Se utiliza aceite o un sistema de amortiguación magnético para amortiguar el sismógrafo [8].



Figura 3. Sismómetro vertical [8]

3.1 SISMÓMETRO TIPO EQ-1

El equipo consiste esencialmente en una pieza de forma horizontal montado sobre una viga que tiene un punto de apoyo con filo en un extremo y un muelle de soporte, permitiendo oscilaciones

verticales lentas que son amortiguadas por una bandeja llena de aceite. Un imán en un extremo genera un pequeño voltaje, cuando el brazo oscila con respecto al soporte como resultado de la transmisión de vibraciones externas, esta pequeña señal de voltaje se amplifica y se digitaliza en una caja de interfaz remota pasando al computador para el monitoreo y análisis continuo por el software Amaseis.

Tabla 3. Especificaciones técnicas del Sismómetro EQ-1 [8].

Especificaciones Sismómetro EQ-1	
Barra oscilante	Longitud 39.5 cm
	Masa: 400 g (aprox)
	Distancia de C.G a apoyo: 29.7 cm (aprox)
Dimensiones totales	50cm x 20.5 cm x 31.5 cm
Peso total	1.75 kg
Aceite de Amortiguación	50:50 mezcla de aceite de motor 10W40 un tratamiento de aceite STP. Aprox. 150ml necesario
Periodo de oscilación natural	1,53 s (Aprox)
Detección de Terremotos	Magnitud hasta 3,5 dentro de 150 km
	Magnitud 6,5 en todo el mundo
Requisitos de energía	procesador 1GHz / RAM 512MB / disco duro 30GB, Windows 2000 o XP

4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El concepto de magnitud fue introducido en 1935 por Charles Francis Richter, sismólogo del Instituto de Tecnología de California, para medir los terremotos locales y así poder estimar la energía por ellos liberada a fin de ser comparados con otros terremotos. Posteriormente, el uso de esta escala se extendió y fue aplicándose a los diferentes terremotos que ocurrían en el mundo. La magnitud está asociada a una función logarítmica calculada a partir de la amplitud de la señal registrada por el sismógrafo (ML, Ms, Mb) o a partir de su duración (MD) sobre el sismograma [7].

Antes de mostrar los resultados obtenidos con el instrumento, es importante hacer claridad de algunos conceptos básicos. Las ondas causadas por la interacción tectónica se extienden y son reducidas durante la propagación y por lo tanto se hacen más pequeñas a mayores distancias desde el epicentro del

terremoto, obviamente dependiendo del medio por el que viajen [9].

Tabla 4. Factores para cálculo de Magnitud de onda.

A	Amplitud de la onda en el sismógrafo EQ-1.
D	distancia en grados (1 grado = 111.19 km en la superficie)
T	periodo (s) de la llegada (medida por la distancia entre dos picos)
Velocidad de amplificación	Velocidad de amplificación del EQ-1 en los conteos
Des amp	desplazamiento por amplificación del EQ-1 en los conteos/micras
DesAmp	$VelAmp * 2 * \pi / T$
A	$a / DesAmp$ (micras)

Estas ondas sísmicas pueden dividirse en varias clases. Las ondas P (primarias) son ondas longitudinales, lo cual significa que el suelo es alternadamente comprimido y dilatado en la dirección de la propagación. Estas ondas generalmente viajan a una velocidad 1.73 veces de las ondas S y pueden viajar a través de cualquier tipo de material. Velocidades típicas son 330-m/s en el aire, 1450-m/s en el agua y cerca de 5000-m/s en el granito [10].

Las ondas S (secundarias) son ondas transversales o de corte. El suelo se desplaza perpendicularmente a la dirección de propagación, alternadamente hacia un lado y hacia el otro. Las ondas S pueden viajar únicamente a través de sólidos debido a que los líquidos no pueden soportar esfuerzos de corte. Su velocidad es alrededor de 58% la de una onda P para cualquier material sólido. Usualmente la onda S tiene mayor amplitud que la P y se siente más fuerte que ésta.

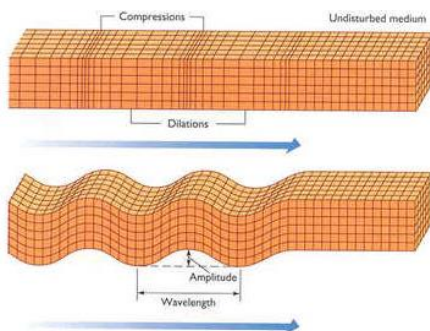


Figura 4. Ondas P (arriba) y Ondas S (abajo) [11]

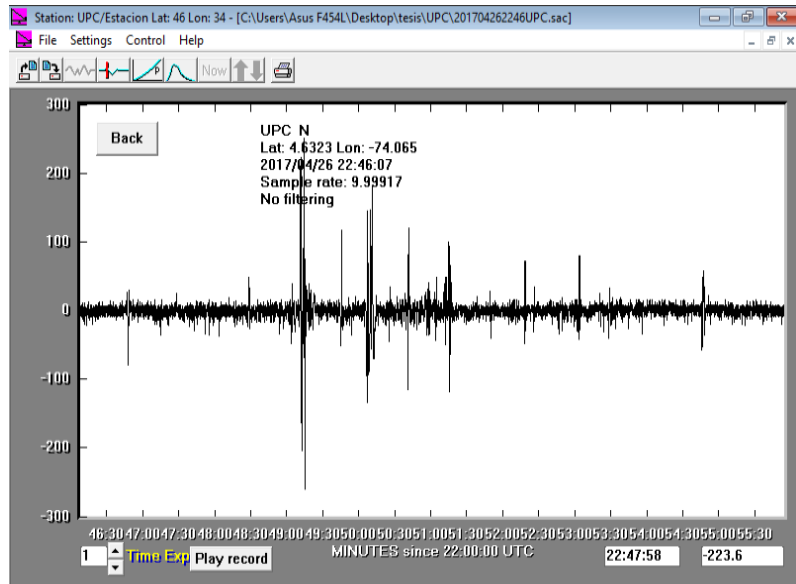


Figura 5. Sismograma ampliado para estudio (autores, 2017)

4.1 CÁLCULO DE MAGNITUDES

Para poder realizar el cálculo de magnitud de onda con la ayuda del equipo, primero se hace necesario conocer ciertos factores como los tipos de magnitudes, la amplitud, el periodo, etc.

Para calcular la magnitud de onda se utilizan las siguientes formulas teniendo en cuenta el intervalo de la distancia en grados (D), así:

- ✓ Magnitud de ondas de cuerpo (M_b), su valor se obtiene a partir de la amplitud máxima, observada en los sismogramas, de las ondas de cuerpo (e.g., las ondas P) con periodos de oscilación de 1 segundo. Un problema de esta magnitud es que se satura a magnitudes de 6.5 - 6.8; es decir, no es posible determinar M_b para sismos con magnitud superior a estos valores [12]. Para $25^\circ < D < 90^\circ$, entonces $T=1-3$ s.

$$M_b = \log_{10} \left(\frac{A}{T} \right) + 0,01 * D + 5,9 \quad (1)$$

- ✓ La magnitud de ondas superficiales (M_s) es válida para terremotos con foco superficial en donde la amplitud máxima debe ser medida en el modo fundamental de la onda Rayleigh con periodo (T) entre 18 – 22 segundos.

Las correcciones deben considerar la distancia epicentral y la profundidad del foco del terremoto. ($20^\circ < D < 160^\circ$; $T = 20$ s)

$$M_s = \log \left(\frac{A}{T} \right) + 1,66 * \log D + 3,3 \quad (2)$$

- ✓ Magnitud de ondas locales, (M_l) La idea de medir la magnitud de un sismo basado en un registro instrumental fue introducido en 1935 por Charles Richter, sismólogo de California Technological Institute. Fue definida para sismos locales en California para un radio de aproximadamente 600 km y se determina a partir de la máxima amplitud registrada por un sismógrafo Wood Anderson con constantes específicas ($T = 0.8$ s, amplificación estática = 2800 y factor de amortiguamiento = 0.8). Lo anterior para $-0,5^\circ < D < 5^\circ$; $T = 1$ s (Ec. 3). $5^\circ < D < 30^\circ$; $T = 1$ s (Ec. 4).

$$M_b Lg1 = \log D \left(\frac{A}{T} \right) + 0,90 \log D + 3,75 \quad (3)$$

$$M_b Lg2 = \log D \left(\frac{A}{T} \right) + 1,66 \log D + 3,30 \quad (4)$$

Teniendo estas ecuaciones se puede iniciar con el proceso de cálculo de magnitud de onda, dependiendo del intervalo de grados de distancia en el que se presente el evento registrado.

Para el sismograma capturado en el software, de acuerdo a la estación

ubicada en el laboratorio de la Universidad Piloto de Colombia, capturado el 2017/04/26 a las 23:17 horas, se procederá a realizar el análisis y determinar, tanto la magnitud del sismo, como la distancia al epicentro del evento (Figura 5).

Después de capturar el evento, se recomienda ocultar los movimientos causados por las vibraciones de baja frecuencia, esto permite identificar más fácil las ondas P y ondas S.

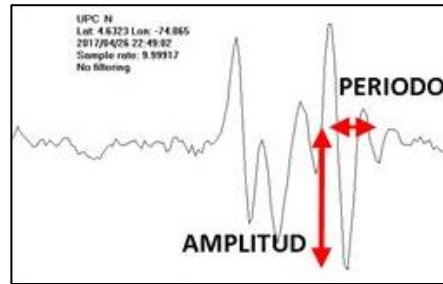


Figura 7. Identificación de amplitud y periodo de ondas del sismo (autores, 2017)

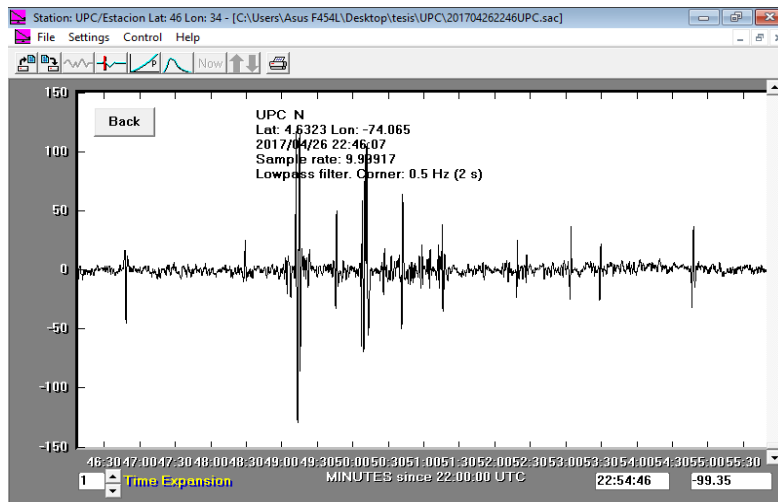


Figura 6. Evento depurado para análisis (autores, 2017)

Como se puede observar en la Figura 6 el sismograma ha quedado más depurado en cuanto a las ondas presentes, de esta manera es más fácil para el usuario identificar los picos de ondas P (primarias) y S (secundarias), el tiempo que hay entre la llegada de cada una de estas ondas, la amplitud A de la onda, así como el periodo T en segundos.

Considerando estos parámetros iniciales requeridos, y con ayuda del sismograma para el evento seleccionado en la Figura 7, se procede a identificar estos valores con ayuda del software Amaseis de la siguiente manera:

- ✓ Amplitud de onda: se muestra en el eje Y de coordenadas del plano la máxima amplitud para esta onda es de 259
- ✓ Periodo de onda: según lo calculado en el software el periodo de onda es de 1,5 s)

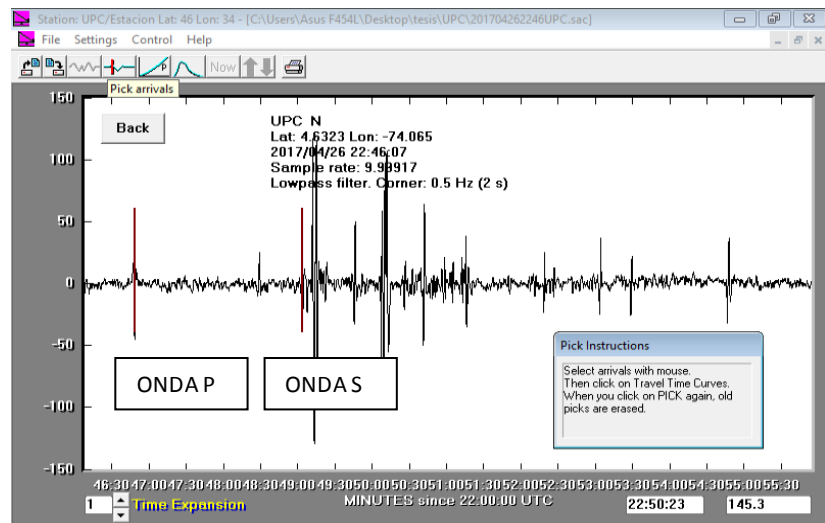


Figura 8. Evento depurado para análisis (autores, 2017)

Después de identificar la amplitud y periodo de onda, se procede a identificar las ondas P y ondas S del sismograma, para esto se utiliza la herramienta *pick*

arrivals del software, tal y como se muestra en la Figura 8.

Luego de definir los puntos de momento de llegada de la onda P y de la Onda S del sismo al equipo, se procede a calcular la distancia desde la estación del sismógrafo hasta el epicentro del evento.

Para esto, el software utiliza la herramienta curva tiempo de viaje, donde se requiere conocer la profundidad del terremoto. Si la profundidad es desconocida por defecto se calcula con 33 km. Si el terremoto parece ser superficial, las ondas superficiales son prominentes en el sismograma.

Ahora, el sismograma se muestra en la gráfica de curvas tiempo de viaje. En esta ventana, el sismograma se puede desplazar tanto vertical como horizontalmente en la pantalla permitiendo que las referencias de ondas P y S se puedan alinear con las respectivas curvas de tiempo de viaje. Para más información acerca de las curvas tiempo de viaje se puede consultar en [13] y [14].

Una vez alineado el sismograma, adyacente se mostrará la distancia en grados al epicentro del evento, (1 grado equivale a 111.19 km sobre la superficie)

[9]. En la Figura 9, donde se muestra el sismograma ampliado se puede observar que la distancia en grados para nuestro evento es de 13.01. Sabiendo que 1 grado equivale a 111.19 Km, tenemos que la

distancia desde el sismógrafo hasta el evento fue de: $D = (13.01)(111.19) = 1446.58 \text{ km}$.

Después de tener los datos recolectados es importante calcular la magnitud del sismo, para esto se utilizan las fórmulas ya descritas. En este caso la distancia se encuentre en el rango de 5-30 grados se utiliza la fórmula para calcular la magnitud de onda local (Ec. 4).

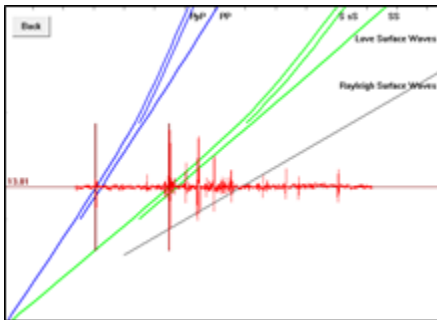


Figura 9. Alineación sismograma con gráfico curvas tiempo de viaje (autores, 2017)

Usando la tabla 5, para un periodo de 1.5 segundos, de acuerdo con los datos de calibración proporcionados por Tim Long de [15], se tiene que:

Tabla 5. Datos de desplazamiento por amplificación del Sismógrafo EQ-1 [15].

T (s)	Frecuencia (Hz)	Vel. Amplif. (conteos/m crones/s)	Desp. Amplif. (conteos/micras)
1	1	12	75
1,5	0,667	22	92
2	0,5	28	88
3	0,333	28	59
5	0,2	22	28
10	0,1	9	5,7
15	0,0667	4	1,7
20	0,05	2	0,63
30	0,0333	0,7	0,15
50	0,02	0,15	0,019
100	0,01	0,02	0,0013

$A=259/92=2.82$, reemplazando A en la ecuación (4) se obtiene que la magnitud $M_b L_g = 5.40$.

Este ejercicio puede comprobarse con ayuda del software Amaseis con la opción calcular la magnitud (ver manual de usuario anexo a este artículo).

5 APOORTE EDUCATIVO AL USUARIO

El funcionamiento de un sismógrafo EQ-1 en un laboratorio de clases fomenta la investigación hacia el conocimiento de la actividad sísmica en todo el mundo y proporciona una oportunidad para que los profesores y estudiantes puedan trabajar con datos científicos reales. Se puede generar un interés particular cuando se produce un evento sísmico local o regional y este es registrado por el sismógrafo o cuando un evento lejano de gran magnitud sucede.

Los estudiantes estarán interesados en “comprobar el sismógrafo” cada día y ver cómo son sus registros y estimaciones de magnitud captadas haciendo el respectivo análisis. La ocurrencia de terremotos importantes en todo el mundo (hay cerca de 20 eventos por año de magnitud de 7 o mayor: muchos de estos eventos causan daños significativos) se puede utilizar para estimular el debate, el aprendizaje y la investigación sobre la geografía, las causas de los terremotos, la propagación de las ondas sísmicas, los peligros de terremotos, y la seguridad contra terremotos.

6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Teniendo en cuenta la información recopilada acerca de otros sismógrafos en el mercado, se pueden identificar algunas de las ventajas y desventajas que presenta.

✓ Ventajas

El sismógrafo tipo EQ-1 instalado en el laboratorio de la Universidad Piloto de Colombia es una gran herramienta para el estudio y el cálculo de los eventos sismográficos captados en la zona.

Permite tomar datos para realizar ejercicios educativos ajustando el equipo para mejorar su sensibilidad.

Captura datos de movimientos sísmicos reales a ciertas distancias dependiendo de la magnitud del evento.

Permite realizar el cálculo de magnitud y distancia desde su propio software Amaseis.

Los datos captados por el Sismógrafo con ayuda del aplicativo se pueden guardar y descargar a un dispositivo USB,

con el fin de ser analizados con mayor detalle.

Permite descargar eventos guardados en otras estaciones del mundo para su respectivo análisis y estudio por medio de internet.

✓ Desventajas

Este equipo no permite identificar exactamente el epicentro del sismo, solo nos brinda la posibilidad de calcular la distancia a este, ya que para realizar la identificación hay que hacer triangulación geográfica con ayuda de otras estaciones ubicadas en las zonas.

Es imprescindible contar con un ordenador que esté conectado al sismógrafo EQ-1 con el fin de que el software pueda tomar y grabar lo datos captados.

Es un equipo muy sensible por lo cual requiere de una protección y constante vigilancia para que los datos captados no se vean alterados por movimientos ocasionados por terceros.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Debido a la naturaleza del trabajo de investigación, los autores entienden que por el fin didáctico del trabajo es más enriquecedor realizar un aparte recomendaciones, sin embargo, se incluyen algunas conclusiones provenientes del análisis del evento sísmico analizado.

El aparato y el procedimiento utilizado es capaz de calcular la distancia a la que ocurre el sismo de manera directa, no obstante, para conocer el lugar exacto del epicentro debe ser triangulado con otros aparados similares. Para este caso en particular el sismógrafo utilizado fue inscrito en la red IRIS – Incorporated Research Institute for Seismology [16].

En el análisis realizado fue posible identificar y definir los puntos de momento de llegada de las ondas P y S, los cuales son útiles para calcular la distancia de ocurrencia del evento (epicentro).

Se recomienda instalar el sismógrafo en un lugar donde no se presente grandes

tipos de movimientos que puedan afectar los datos captados por equipo, como por ejemplo el tráfico de personas cerca al equipo, el movimiento de equipos pesados, la posible caída de objetos pesados cerca de la estación, Etc.

Se recomienda seguir con detalle los pasos para la instalación y calibración del equipo, teniendo en cuenta el lugar de instalación como su latitud, longitud y altura.

La vigilancia constante del equipo para ver los posibles eventos captados en el software Amaseis.

Para comprender mejor el uso del Software Amaseis y de la Instalación del equipo se aconseja estudiar el Manual de usuario para el sismógrafo EQ-1.

Es importante que el programa de Ingeniería Civil participe en las redes internacionales de sismógrafos en el mundo para compartir información y datos que complementen los resultados de este trabajo.

Debe generarse una práctica de laboratorio, ya sea en algunas de las asignaturas del área de Geotecnia o Estructuras, con el fin de aprovechar las ventajas del equipo y actualizar el conocimiento respecto a esta temática.

Geology and Geophysics, 9:1-2, 122-129, DOI: 10.1080/00288306.1966.10420201.

- [7] D. Boore (1989). "The Richter scale: its development and use for determining earthquake source parameters". Tectonophysics, 166 (1989) 1-14.
- [8] Ward's Science (2016). Vertical School Seismometer [En línea]. Disponible en: www.wardsci.com
- [9] Purdue University (2017). [En línea]. Disponible en: <http://web.ics.purdue.edu/>
- [10] B. Das (1993). "Principles of soil Dynamics". PWS-Kent Publishing Company.
- [11] Seismic Warber Systems (2017). [En línea]. Disponible en: <https://www.seismicwarning.com/sws-science.html>
- [12] Servicio Sismológico Nacional. Universidad Autónoma de México (2017). [En línea]. Disponible en: <http://www.ssn.unam.mx/jsp/reportesEspeciales/Magnitud-de-un-sismo.pdf>
- [13] B.A. Bolt (1993). "Earthquakes and Geological Discovery". Scientific American Library, W.H. Freeman. New York, 229 pp.
- [14] P.M. Shearer (1999) "Introduction to Seismology". Cambridge University Press, Cambridge, UK, 260pp.
- [15] Georgia Tech Institute (2017) [En línea]. Disponible en: <http://quake.eas.gatech.edu/MagWeb/CalReptAS-1.htm>.
- [16] IRIS. Incorporated Research Institute for Seismology (2017). www.iris.edu. 2014.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] P. Varotsos & K. Alexopoulos (1984). "Physical properties of the variations of the electric field of the earth preceding earthquakes. II. determination of epicenter and magnitude". Tectonophysics. Volume 110. Issues 1-2. pp 99-125.
- [2] Solociencia (2017). [En línea]. Disponible en: www.solociencia.net
- [3] Centro Sismológico Nacional, Universidad de Chile (2017). [En línea]. Disponible en: www.sismologia.cl
- [4] F. Rosales (2012). "Modelamiento del movimiento de las placas tectónicas". Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de: Magister en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales, Facultad de Ciencias. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- [5] Servicio Geológico Colombiano (2017). [En línea]. Disponible en: <http://seisan.sgc.gov.co>
- [6] G.A. Elby (1966) "The Modified Mercalli scale of earthquake intensity and its use in New Zealand". New Zealand Journal of